

नापना पृथ्वी का आकार

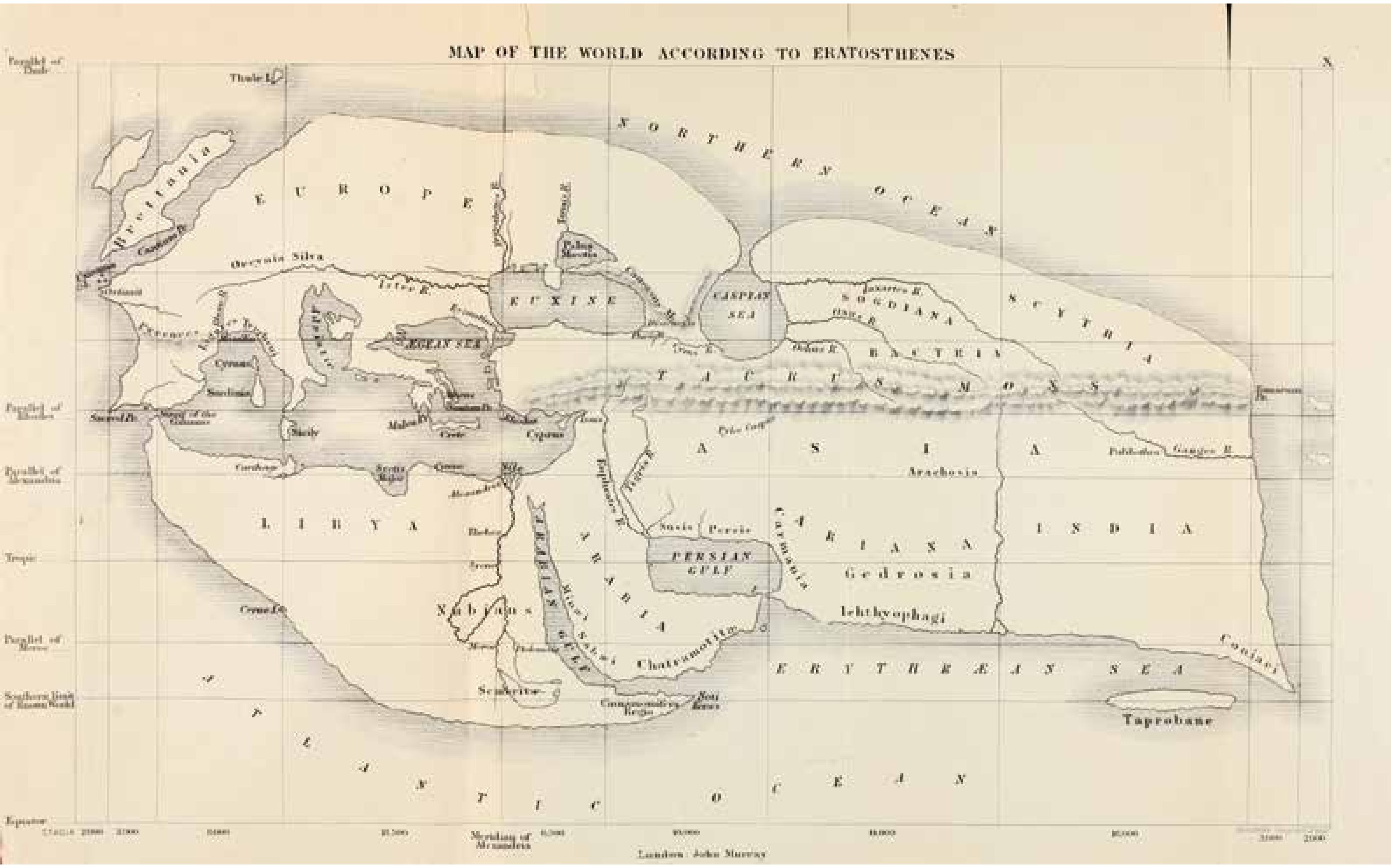
अमोल आनन्दराव काटे

पृथ्वी के आकार का पहला सटीक माप कब लिया गया था? यह माप लेने वाले पहले व्यक्ति कौन थे? उन्होंने यह कैसे किया था?

आमतौर पर माना जाता है कि पृथ्वी के आकार को मापने के शुरुआती प्रयास लगभग उस समय शुरू हुए थे जब खुले समुद्र में यात्राएँ होने लगी थीं। हालाँकि, अब हम जानते हैं कि पृथ्वी के आकार का पहला लगभग-सटीक मापन बहुत पहले (आज से 2000 साल से भी पहले) एक यूनानी व्यक्ति इरेटोस्थेनीज़ द्वारा किया गया था। इरेटोस्थेनीज़ ने यह कमाल तब कर दिखाया था जब यूरोप ने अमेरिका, ऑस्ट्रेलिया और अंटार्कटिका जैसे महाद्वीपों की खोज भी नहीं की थी या प्रशान्त, अटलांटिक या हिन्द महासागरों के बारे में विस्तार से नहीं जाना था (**चित्र-1** देखें)।

इरेटोस्थेनीज़ कौन थे?

इरेटोस्थेनीज़ एक विद्वान और दार्शनिक थे। उनका जन्म 276 ईसा पूर्व में सारीनी नामक एक शहर में हुआ था, जो उस समय ग्रीक साम्राज्य का हिस्सा था। यह आज शहात के नाम से जाना जाता है और लीबिया का हिस्सा है। अपने गृह नगर में प्रारम्भिक शिक्षा लेने के बाद, इरेटोस्थेनीज़ दर्शन और कविता का अध्ययन करने एथेंस चले गए। तीस साल की उम्र में, मिस्र में एलेक्ज़ेंड्रिया के शासक टॉलेमी तृतीय ने इरेटोस्थेनीज़ को दी ग्रेट लाइब्रेरी ऑफ़ एलेक्ज़ेंड्रिया में पुस्तकालयाध्यक्ष पद की पेशकश की। यह पुस्तकालय प्राचीन दुनिया के सबसे बड़े और सबसे महत्त्वपूर्ण



चित्र-1 : ज्ञात दुनिया के इरेटोस्थेनीज़ नक़्शे की 19 वीं सदी में की गई पुनर्रचना।

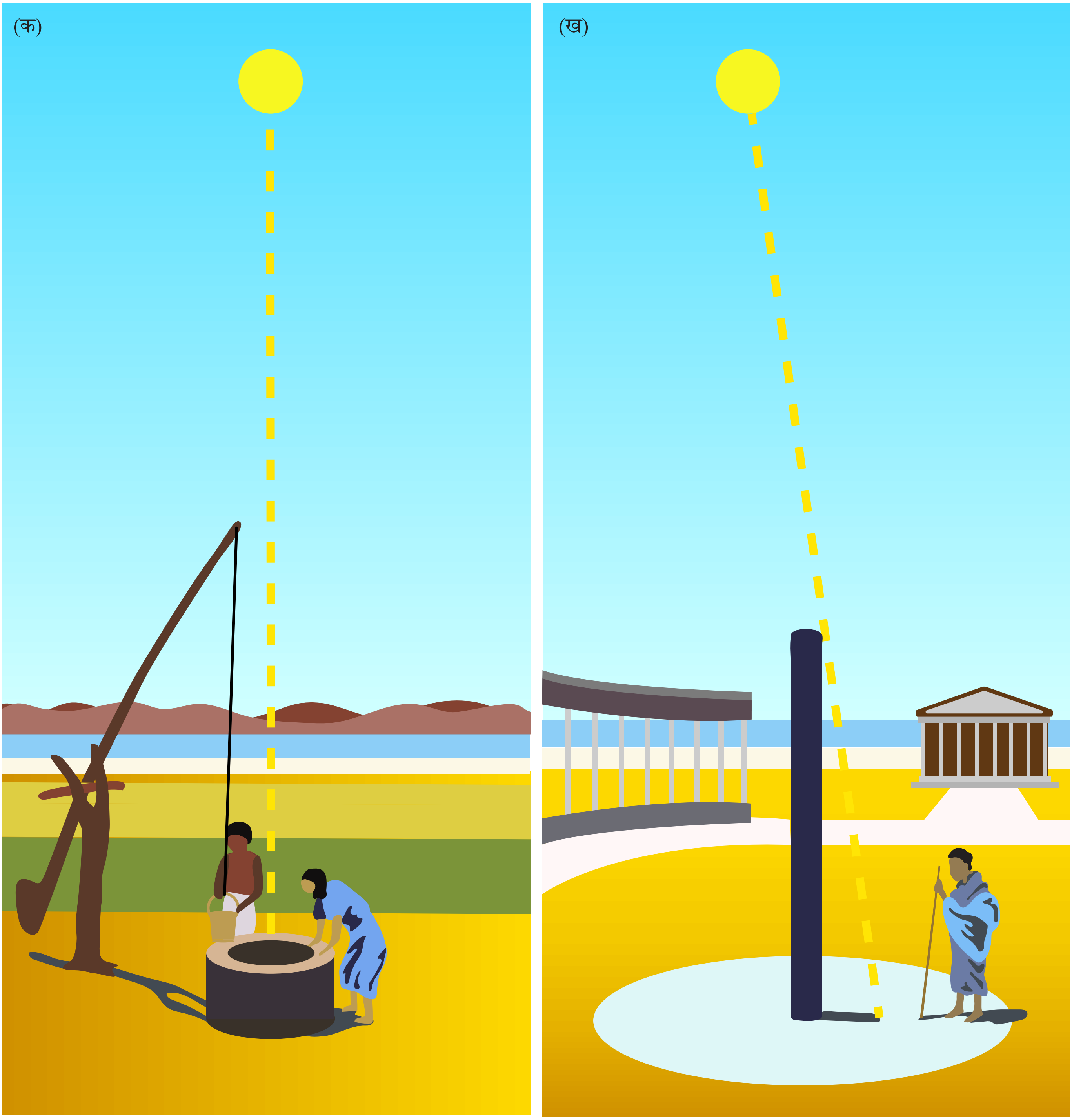
Credits: Bunbury, E.H. (1811-1895), A History of Ancient Geography among the Greeks and Romans from the Earliest Ages till the Fall of the Roman Empire, page 667. London: John Murray, 1883. Uploaded by Sette-quattro on Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mappa_di_Eratostene.jpg. License: CC-BY.

पुस्तकालयों में से एक था। इरेटोस्थेनीज़ ने इस प्रस्ताव को स्वीकार कर लिया और एलेक्ज़ेंड्रिया चले गए। वहाँ वे 194 ईसा पूर्व में अपनी मृत्यु तक रहे। इस दौरान, वे मुख्य पुस्तकालयाध्यक्ष के पद तक पहुँचे, उन्होंने पुस्तकालय की क़िताबों के संग्रह में इज़ाफ़ा किया और टॉलेमी के बच्चों को पढ़ाया।

इरेटोस्थेनीज़ एक बहुविद् थे। उन्होंने न सिर्फ़ गणित और विज्ञान में कई महत्त्वपूर्ण योगदान दिए, बल्कि वे भूगोल, साहित्य और इतिहास जैसे विषयों में भी पारंगत थे। वक़्त के साथ उनका बहुत-सा काम लुप्त/नष्ट हो गया है। लेकिन हम क्लियोमेडीज़, पैपो और स्ट्रैबो जैसे अन्य दार्शनिकों के लेखन के माध्यम से उनके कुछ योगदानों के बारे में जानते हैं। दरअसल, क्लियोमेडीज़ ने ही पृथ्वी की परिधि मापने के लिए इरेटोस्थेनीज़ द्वारा इस्तेमाल की गई विधि का एक सरलीकृत संस्करण साझा किया।

इरेटोस्थेनीज़ ने पृथ्वी का आकार कैसे मापा?

उस समय तक, यह आमतौर पर माना जाने लगा था कि पृथ्वी एक गोले (गेंद) जैसी है। कई लोगों ने इसकी परिधि मापने की कोशिश की थी, लेकिन नाक़ामयाब रहे थे। इरेटोस्थेनीज़ ज्यामिति के अपने ज्ञान का उपयोग करके इस माप तक पहुँचे थे। वे जानते थे कि एलेक्ज़ेंड्रिया के दक्षिण में स्थित स्येन नामक एक शहर में ग्रीष्म अयनान्त (summer solstice) के दिन मध्यान्ह के समय वस्तुओं की कोई छाया नहीं बनती थी। आप देख सकते थे कि कुएँ में सूरज की किरणें एकदम सीधी पानी में पड़ रही हैं यानी इसका प्रतिबिम्ब सीधे तली के पानी पर पड़ता था और किनारों तक नहीं फैलता था। ऐसा इसलिए होता था क्योंकि उस समय स्येन में सूरज एकदम सिर के ऊपर (90° के कोण पर) होता था। स्येन, जिसे अब आस्वान के नाम से जाना जाता है, कर्क रेखा के बहुत पास स्थित है। और यहाँ

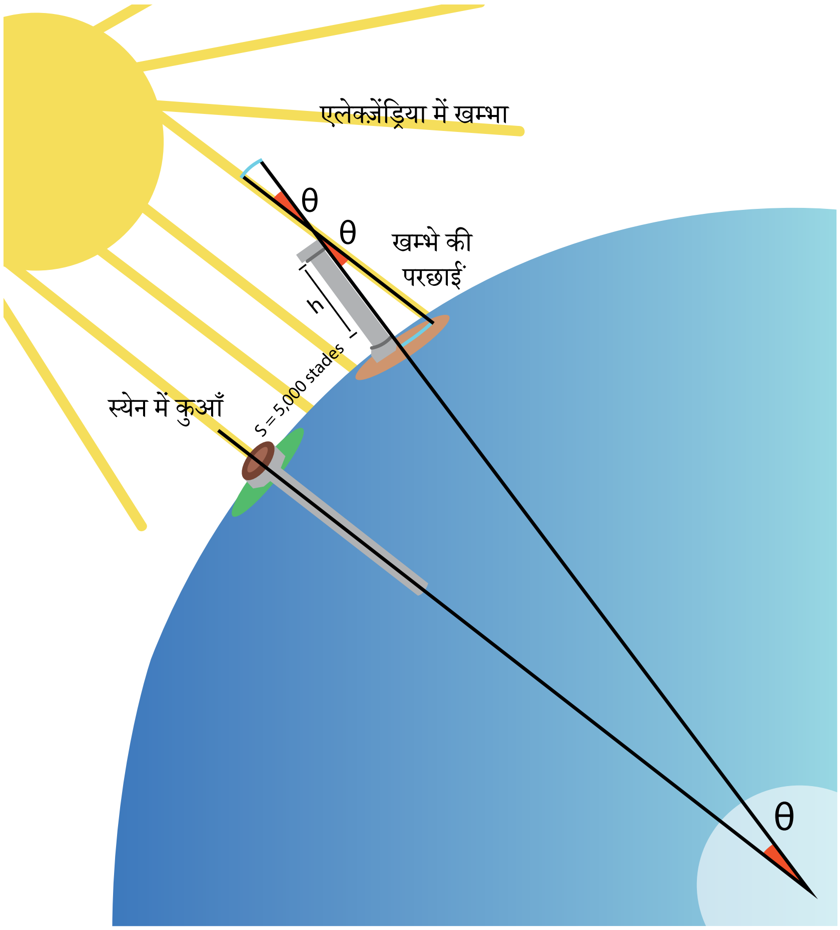


चित्र-2 : इरेटोस्थेनीज़ जानते थे कि उत्तरी गोलार्ध में ग्रीष्म अयनान्त के दिन मध्याह्न के सूरज से बनी छाया का कोण (क) स्येन और (ख) एलेक्ज़ेंड्रिया में अलग-अलग था।

Adapted from http://karidiscience.blogspot.com/2013/03/blog-post.html. Credits: Agios Nikolaos on 'Karydis Manos'. License: CC-BY-NC.

पर 21 जून यानी उत्तरी गोलार्ध के ग्रीष्म अयनान्त के आस-पास सूरज ठीक सिर के ऊपर होता है।

इसके विपरीत, इरेटोस्थेनीज़ ने देखा था कि जब एलेक्ज़ेंड्रिया में ग्रीष्म अयनान्त के मध्यान्ह का सूरज लगभग ठीक सिर के ऊपर प्रतीत होता था, उस समय भी उनके चारों ओर की वस्तुओं, जिनमें उनके द्वारा लगाया गया एक खम्भा भी शामिल था, की छायाएँ स्येन में बनने वाली छायाओं से लम्बी होती थीं (**चित्र-2** देखें)। छायाओं की लम्बाई में इस अन्तर का मतलब था कि सूरज की किरणें एलेक्ज़ेंड्रिया में एक कोण पर गिरती थीं। उन्होंने अनुमान लगाया कि यदि उन्हें एलेक्ज़ेंड्रिया और स्येन के बीच



चित्र-3 : उस कोण को मापना जिससे एलेक्ज़ेंड्रिया में सूरज की किरणें ग्रीष्म अयनान्त पर मध्यान्ह के समय स्येन से विचलित होती हैं। इरेटोस्थेनीज़ ने एक मान्यता ली — चूँकि सूरज बहुत दूर था, इसलिए सूरज की किरणें पृथ्वी पर समानान्तर रूप से गिरेंगी। उन्होंने एलेक्ज़ेंड्रिया में एक छड़ी पर सूरज की किरणों के गिरने के कोण को 7.2 डिग्री मापा। ज्यामिति के अपने ज्ञान के आधार पर, वे जानते थे कि यह उस कोण का एक एकान्तर (आन्तरिक) कोण था, जो एलेक्ज़ेंड्रिया व स्येन की दूरी की वजह से पृथ्वी के केन्द्र पर बनता है। अत: दोनों कोण बराबर होंगे।

Adapted from https://www.flickr.com/photos/nasablueshift/9411406224. Credits: NOAA Ocean Service Education. License: CC-BY.

की दूरी पता हो और उस कोण को माप सकें जितनी एलेक्ज़ेंड्रिया में सूरज की किरणें शिरोबिन्दु से विचलित होती हैं तो वे पृथ्वी का आकार नाप सकेंगे। कैसे? ठीक उसी प्रकार जैसे हम वृत्त के चाप द्वारा अन्तरित कोण और उस कोण द्वारा बनाए गए चाप की लम्बाई की मदद से वृत्त की परिधि पता लगा सकते हैं।

इरेटोस्थेनीज़ ने उस कोण को, जिसके द्वारा सूरज की किरणें एलेक्ज़ेंड्रिया में अभिलम्ब से विचलित होती हैं, मापने के लिए एक छड़ी का उपयोग करके पाया कि यह 7.2 डिग्री है। स्येन और एलेक्ज़ेंड्रिया के बीच की दूरी को मापने के लिए इरेटोस्थेनीज़ ने किसी की मदद ली थी। यह माप लगभग 5000 स्टेडियम (दूरी नापने की एक यूनानी इकाई, मिस्र में लगभग 157 मीटर के बराबर) थी। यह दूरी पृथ्वी के वृत्त का चाप थी जो 7.2 डिग्री कोण के बराबर थी (**चित्र-3** देखें)। इस कोण के लिए चाप की लम्बाई की तुलना पूर्ण वृत्त के साथ करके इरेटोस्थेनीज़ ने पृथ्वी की परिधि की गणना कर ली थी, जो लगभग 250,000 स्टेडियम निकली (**बॉक्स-1** देखें)।

बॉक्स-1 : इरेटोस्थेनीज़ की विधि को ख़ुद इस्तेमाल करके देखें

क्या यह उल्लेखनीय नहीं है कि इरेटोस्थेनीज़ सिर्फ़ एक छड़ी और कुछ सरल प्राथमिक ज्यामिति के साथ इतनी सटीक माप पर पहुँच गए थे? यदि आप और आपके विद्यार्थी ख़ुद उनकी विधि को आज़माना चाहते हैं, तो आगे दी गई गतिविधि शीट देखें जिसका शीर्षक है : हम पृथ्वी का आकार कैसे मापें?

दूसरे शब्दों में, पृथ्वी की परिधि/ एलेक्ज़ेंड्रिया और स्येन के बीच की दूरी = 360°/ दोनों शहरों को मिलाने से बने चाप द्वारा पृथ्वी के केन्द्र में अन्तरित कोण या दोनों शहरों के बीच का कोण।

एलेक्ज़ेंड्रिया और स्येन के बीच की दूरी = 5000 स्टेडियम।

दोनों शहरों के बीच का कोण (उनके द्वारा मापा गया) = 7.2°।

अत: पृथ्वी की परिधि/ 5000 स्टेडियम = 360°/7.2°।

इसका मतलब था कि पृथ्वी की परिधि = 50 × 5000 = 250,000 स्टेडियम।

पृथ्वी की परिधि की इरेटोस्थेनीज़ के माप की मीट्रिक तुल्यता 250,000 स्टेडियम × 157 मीटर = 39,250,000 मीटर या 39,250 किलोमीटर होगी। यह आज हमारे पास मौजूद मान (40,075 किमी) के बहुत क़रीब है!

मुख्य बिन्दु



- पृथ्वी के आकार का पहला लगभग-सटीक माप 2000 साल से भी पहले इरेटोस्थेनीज़ द्वारा पता किया गया था।
- इरेटोस्थेनीज़ का अधिकांश काम तो वक़्त गुज़रने के साथ लुप्त हो गया। हम दार्शनिक क्लियोमेडीज़ के लेखन से इस माप को प्राप्त करने के लिए उनके द्वारा इस्तेमाल की गई विधि के बारे में जान पाए।
- इरेटोस्थेनीज़ सिर्फ़ एक छड़ी और कुछ प्राथमिक ज्यामिति के ज़रिए एक सटीक माप तक पहुँच गए थे। हममें से कोई भी ख़ुद पृथ्वी के आकार को मापने की इस विधि को दोहरा सकता है।

Notes:

1. Eratosthenes' method was described by Carl Sagan in this video: https://www.youtube.com/watch?v=G8cbIWMv0rI.
2. Source of the image used in the background of the article title: 'Eratosthenes Teaching in Alexandria' by Bernardo Strozzi. Credits: mark6mauno, Flickr. URL: https://www.flickr.com/photos/mark6mauno/10832052985. License: CC-BY.



अमोल आनन्दराव काटे राजस्थान के सिरोही में अज़ीम प्रेमजी फ़ाउण्डेशन के साथ एक टीचर एजुकेटर और विज्ञान स्रोत व्यक्ति के रूप में काम करते हैं। उनसे amol.kate@azimpremjifoundation.org पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : सीमा **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** अनुज उपाध्याय

पूछें एक सवाल

गतिविधि शीट : हम पृथ्वी का आकार कैसे मापें?

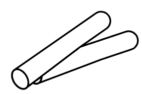
इस सरल गतिविधि का इस्तेमाल आप ख़ुद से पृथ्वी की परिधि मापने के लिए कर सकते हैं। ऐसा करने के लिए, आपको भूमध्य रेखा से अपने शहर/ नगर/ गाँव की सबसे छोटी दूरी जानने की ज़रूरत होगी। आपका काम हरेक साल के दो दिनों में बेहद आसान हो जाएगा जब सूरज भूमध्य रेखा पर दोपहर में ठीक सिर के ऊपर की ओर होगा — 20 मार्च और 21 सितम्बर। चूँकि इस पद्धति में कोणों को मापना और संख्याओं की तुलना करना होती है, इसलिए आपको मिडिल स्कूल में (8वीं कक्षा तक) सीखे गणित की मदद लगेगी।

आपको यह सामग्री चाहिए होगी :



एक मीटर पैमाना या एक सीधी छड़ी/ पट्टी जो एक मीटर लम्बी हो।

एक सपाट/ समतल सतह जिस पर मीटर पैमाने को 90 डिग्री के कोण पर रखा जा सके। सुनिश्चित करें कि इस सतह पर सूरज की रोशनी आ रही हो।



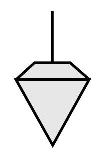
चॉक का एक टुकड़ा जिससे छड़ी की छाया अंकित कर सकें।



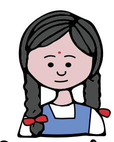
एक चाँदा



एक लम्बा धागा



एक साहुल सूत्र



छाया की लम्बाई मापने के लिए एक साथी

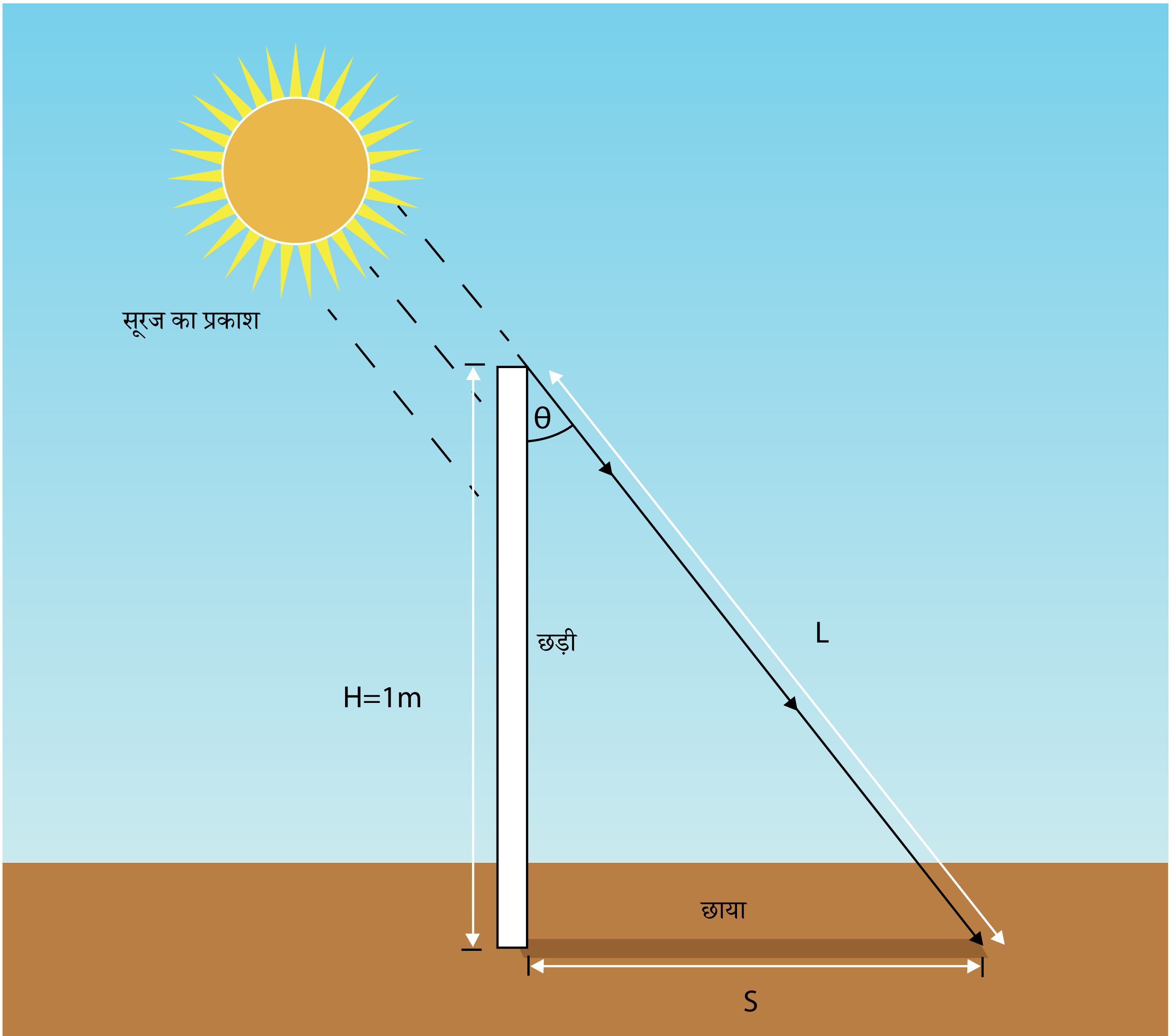
क्या सावधानी रखें :

- ऐसा दिन चुनें जब आसमान साफ़ हो। यदि बादल छाए हैं, तो हो सकता है कि आपको कोई छाया न दिखे। यदि आप यह गतिविधि मार्च में कर रहे हैं, तो भारत के अधिकांश हिस्सों में आमतौर पर आसमान साफ़ रहता है। यदि आप सितम्बर में यह गतिविधि कर रहे हैं और आसमान में बादल छाए हुए हैं, तो आप एक या दो दिन के लिए इसे टाल सकते हैं।
- दिन के उस समय का पता लगाने के लिए कैलेण्डर या पंचांग का उपयोग करें, जब सूरज आपके स्थान/ यहाँ पर ठीक सिर के ऊपर होगा (सौर मध्याह्न)।
- वास्तविक गतिविधि से 10 मिनट पहले सभी उपकरण तैयार रखें।

क्या करें :

1. मीटर छड़ी को एक सपाट सतह पर रखें जिस पर सीधी धूप पड़ रही हो। छड़ी सतह से लम्बवत होनी चाहिए — आप इसे एक साहुल सूत्र से चैक कर सकते हैं।
2. जब सूरज ठीक सिर के ऊपर (आकाश में सबसे ऊँचा) हो, तो चॉक के टुकड़े का उपयोग करके सपाट सतह पर गिरने वाली छड़ की छाया की लम्बाई को चिह्नित करें। भारत में यह छाया छड़ी के उत्तर की ओर होगी। (क्यों? पता करें।)
3. उस कोण को मापने के लिए जिस पर सूरज की रोशनी छड़ी पर पड़ती है, अपने साथी की मदद से छड़ी के सिरे से उसकी छाया के अन्त तक एक धागा फैलाएँ।
4. साथ ही चाँदे से धागे और छड़ी के बीच के कोण को नापें। इसे नोट कर लें।
5. भूमध्य रेखा से अपने स्थान (नगर या शहर) की दूरी का इस्तेमाल करके निम्न सूत्र के द्वारा आप पृथ्वी की परिधि की गणना कर सकते हैं :

$$\frac{\text{360 डिग्री}}{\text{छाया का कोण}} = \frac{\text{पृथ्वी की परिधि}}{\text{भूमध्य रेखा से आपके स्थान की दूरी}}$$



Credits: Adapted from an image by Dr. Angelos Lazoudis, Ellinogermaniki Agogi, Research & Development Department, Pallini, Greece.
URL: https://eratosthenes.ea.gr/content/experiment.

विचार करें :

- यदि आपने अलग-अलग दिनों में पृथ्वी की परिधि मापने के लिए इस विधि का उपयोग किया होता; तो क्या आपको अलग मान मिले होते? क्यों? क्या आप अपनी परिकल्पना का परीक्षण करने के लिए एक प्रयोग डिज़ाइन कर सकते हैं?
- यदि हम साल के किसी अन्य दिन इस विधि का उपयोग करना चाहें, तो आपको क्या लगता है कि हमें इसमें क्या बदलाव करने होंगे?

रचनाकार :
अमोल आनन्दराव काटे राजस्थान के सिरोही में अज़ीम प्रेमजी फ़ाउण्डेशन के साथ एक टीचर एजुकेटर और विज्ञान स्रोत व्यक्ति के रूप में काम करते हैं। उनसे amol.kate@azimpremjifoundation.org पर सम्पर्क किया जा सकता है। **अनुवाद :** सीमा **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** अनुज उपाध्याय

पूछें एक सवाल

गतिविधि शीट : हम पृथ्वी का आकार कैसे मापें?

20 मार्च और 21 सितम्बर को भूमध्य रेखा के किसी भी बिन्दु पर सूरज ठीक सिर के ऊपर की ओर होता है। पूरा भारत भूमध्य रेखा के उत्तर में है और मुख्यभूमि/ पृथ्वी के सबसे दक्षिणी बिन्दु पर भूमध्य रेखा के 804' उत्तर से सबसे उत्तरी बिन्दु पर भूमध्य रेखा के 3706' उत्तर तक अक्षांश अलग-अलग हैं। हमारे देश में सभी स्थान इस सीमा के अन्तर्गत आते हैं। इसका मतलब यह है कि जब सूरज इन दो दिनों में से किसी एक दिन भूमध्य रेखा पर ठीक सिर के ऊपर की ओर होता है, तो भारत में एक ही देशान्तर पर स्थित एक स्थान पर सूरज उस ऊर्ध्वाधर के दक्षिण में एक कोण पर दिखाई देगा। दूसरे शब्दों में, हमारे देश में किसी भी स्थान पर दोपहर 12 बजे, सूरज अपने पूर्व से पश्चिम के प्रक्षेपपथ में उच्चतम बिन्दु पर होगा, लेकिन दक्षिण से एक कोण पर होगा। यदि हम इस कोण और उस स्थान की भूमध्य रेखा से दूरी को जानते हैं, तो पृथ्वी की परिधि की गणना करना सरल है।

हालाँकि, देशान्तर के सन्दर्भ में हम भारत में कहाँ हैं, इस पर निर्भर करते हुए सूरज दोपहर 12 बजे प्रक्षेपपथ के उच्चतम बिन्दु पर नहीं हो सकता है। भारतीय मानक समय (आईएसटी) ग्रीनविच से 82.5 डिग्री पूर्व का समय है। इस देशान्तर पर स्थित सभी बिन्दुओं पर दोपहर 12 बजे (आईएसटी) प्रक्षेपपथ में सूरज अपने उच्चतम बिन्दु पर होगा। इसके पूर्व के स्थानों पर, सूरज दोपहर 12 बजे से पहले प्रक्षेपपथ में उच्चतम बिन्दु पर होगा; और इस देशान्तर के पश्चिम के स्थानों पर, दोपहर 12 बजे के बाद। एक पंचांग हमें बता सकता है कि यह किस समय होगा। या फिर, यदि कोई नक़्शे पर अपनी स्थिति और अपने देशान्तर की पहचान कर सकता है, तो वह यह गणना कर सकता है कि उस स्थान पर सूरज किस समय उच्चतम बिन्दु पर होगा। कैसे? चूँकि प्रत्येक डिग्री पूर्व में 4 मिनट जुड़ेगा और प्रत्येक डिग्री पश्चिम में 4 मिनट कम हो जाएगा, देशान्तर के अन्तर (82.5 डिग्री से) को 4 से गुणा करें। और फिर, आप भूमध्य रेखा के पूर्व में हैं या पश्चिम में, इस आधार पर प्राप्त मान को दोपहर 12 बजे से जोड़ें या घटाएँ।

i wonder... Rediscovering school science

रचनाकार :
रामगोपाल (राम जी) वल्लत मोटीवेशनल वक्ता हैं। बच्चों की लोकप्रिय साइंस फ़िक्शन किताब, *ऊप्स द मायटी गर्गल* के लेखक हैं। स्कूलों में बच्चों को प्रेरणा भरे भाषण देते हैं, विज्ञान कार्यशालाएँ करते हैं। उनसे ramg@azimpremjifoundation.org पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : सीमा **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** अनुज उपाध्याय

Azim Premji University